公開資料

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）

研究領域「カーボンニュートラルの実現に向けた資源・エネルギーの持続可能な利用に関する研究」

研究課題名「微細藻類による二酸化炭素の固定と資源化によるエネルギーおよび食料資源の持続的生産システムの創出」

採択年度：令和４年（2022 年）度/研究期間：５年/

相手国名：インドネシア

令和４（2022）年度実施報告書

国際共同研究期間[*1]
2023 年 7 月 1 日から 2028 年 6 月 30 日まで
JST 側研究期間[*2]
2022 年 6 月 1 日から 2028 年 3 月 31 日まで
（正式契約移行日 2023 年 4 月 1 日）

*1 R/D に基づいた協力期間（JICA ナレッジサイト等参照）
*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた年度末

研究代表者： 持田恵一

理化学研究所・チームリーダー

Ⅰ．国際共同研究の内容（公開）

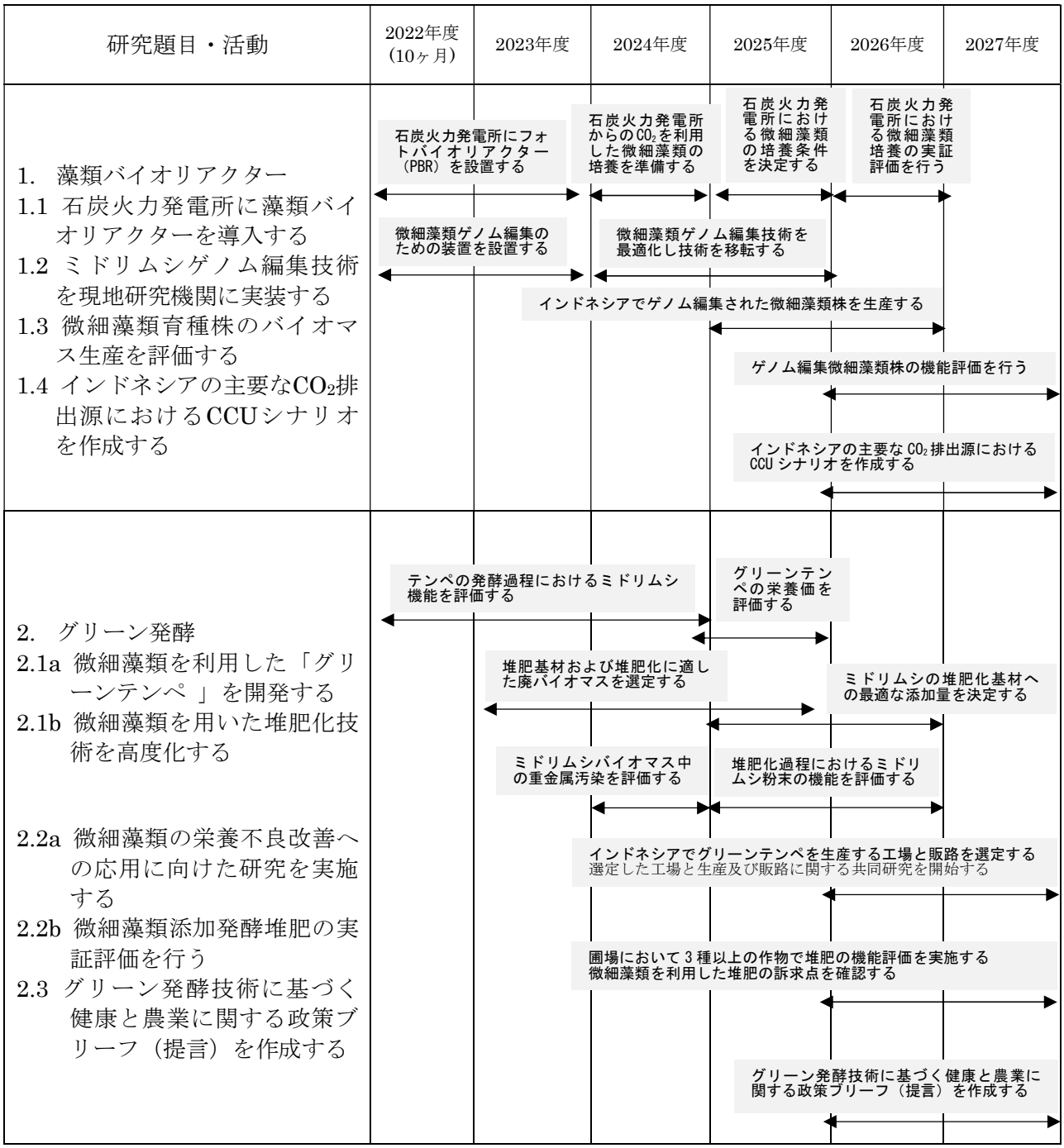
温室効果化ガスの実質排出ゼロを達成しカーボンニュートラル社会を実現することは、喫緊の地球規模課題である(IPCC 第 6 次評価報告書 2021 年)。その具体的方策の 1 つは、世界の温室効果ガスの 30%を排出する石炭火力発電の脱炭素化である(第 26 回気候変動枠組条約締約国会議 2021 年)。一方、石炭は他の化石燃料に比べて安価で安定供給も望めるため、依然として新興国の主要な電源である。従って、新興国の脱炭素火力と再生可能エネルギー転換は、カーボンニュートラル社会の実現に大きく貢献する。

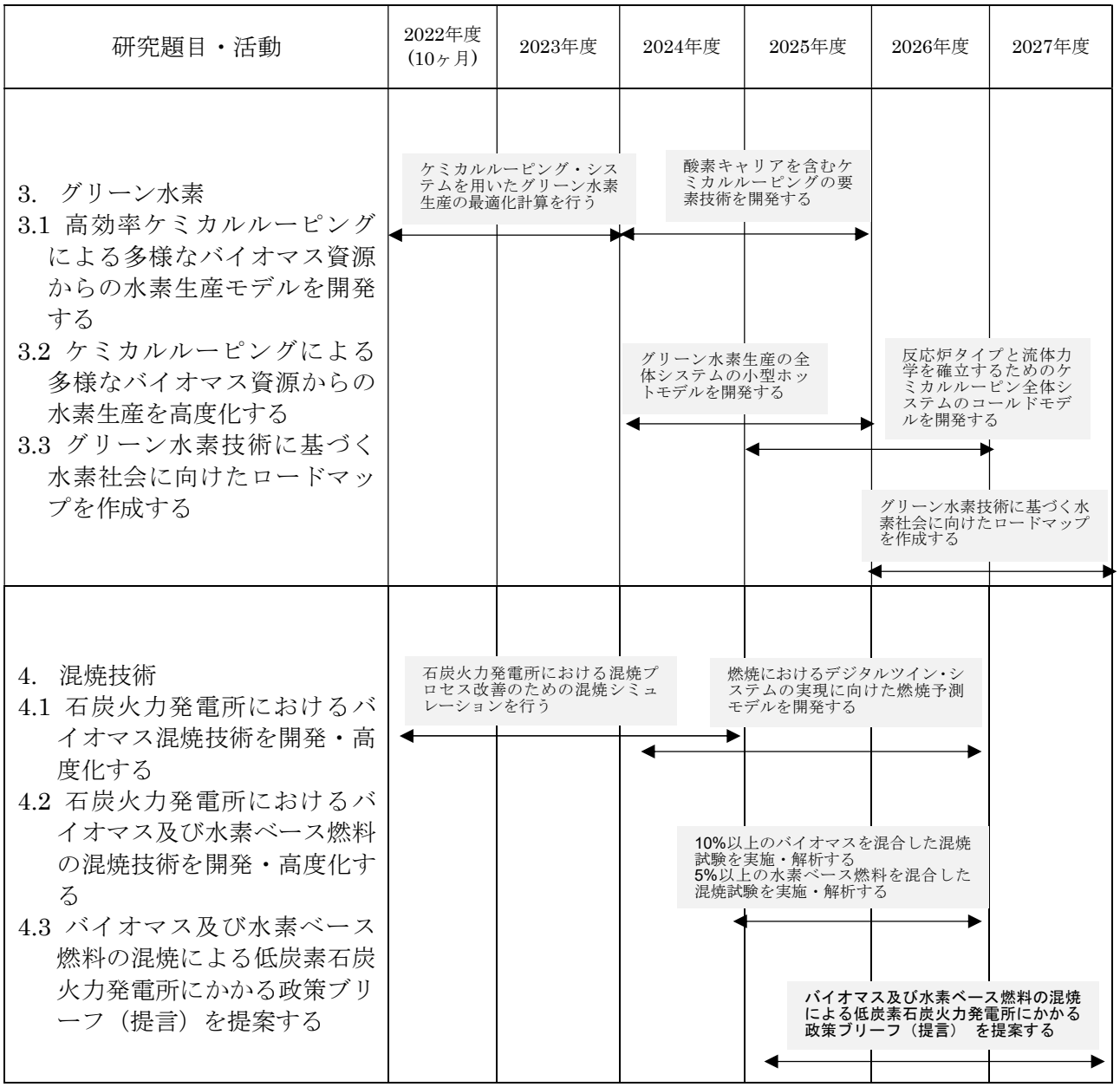
二酸化炭素(CO_2)を吸収して有効利用する Carbon Capture & Utilization(CCU)技術は、大気中に排出される CO_2 を削減するとともに炭素の循環利用に有効である。特に、微細藻類バイオマス等によるバイオ CCU やケミカルループピングによる CO_2 回収と水素生産が有望視されている。微細藻類バイオマスは、光合成により固定した CO_2 を燃料や化成品の資源に変換することができる。微細藻類バイオマス資源を餌飼料や肥料、栄養補助食品等として利用することは、食料生産やヘルスケアに貢献する。一方、水素は次世代エネルギーとして期待されており、特に、バイオマス等の再生可能エネルギー由来の水素(グリーン水素)は、温室効果化ガス削減と世界のエネルギー需要に貢献する。

こうした背景をうけて、本研究は、ゲノム編集による微細藻類の分子育種技術とケミカルループピングによるグリーン水素生産技術という日本が先導する２つの技術をコア技術として、インドネシアにおける脱炭素火力の実現と CCU による新産業の創出を目的する。具体的には、①ミドリムシ藻類の大量培養によるフォトバイオリアクターの実装(藻類バイオリアクター)、②ミドリムシ藻類を用いた発酵リモデリング技術の開発と発酵食品および発酵肥料への応用(グリーン発酵)、③藻類バイオマス等を用いた CO_2 フリー水素生産技術の開発(グリーン水素)、④石炭火力発電における非可食バイオマスおよび水素・アンモニアの混燃技術の開発(混焼技術)の 4 つの課題について研究開発を行う。また、これらの課題の研究成果に基づいて、インドネシアにおける経済合理性のある炭素循環政策の提案を行う。

1.　当初の研究計画に対する進捗状況

(1)研究の主なスケジュール





(2)プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

なし。

2. 計画の実施状況と目標の達成状況（公開）

(1) プロジェクト全体

- 対処方針会議：2022 年 9 月 12 日にオンライン会議で対処方針会議を行い、研究内容の確認を行うとともに、詳細計画策定調査において確認すべき事項等を整理した。
- 詳細計画策定調査：2022 年 9 月 25 日～10 月 6 日に、持田(理研)・アッズィズ(東大)・鈴木(（株）ユーグレナ)・稲葉(（株）ユーグレナ)・JST および JICA 関係者がインドネシアにおいて詳細計画策定調査を行った。Jawa Power 火力発電所(パイトン)、パジャジャラン大学(UNPAD, バンドン)、ガ

ジャマダ大学(UGM, オンライン)、国立研究革新庁(BRIN, バンドンおよびスルポン)、インドネシア教育大学(UPI, バンドン)、バンドン工科大学(ITB, バンドン)、AWINA(ジャカルタ)を訪問し、現地の研究設備と実施環境の確認、本研究における協力体制と役割分担、懸念事項についての協議を行った。すべての点で合意し、UNPAD と JICA 間で討議議事録を締結した。また、業省とエネルギー省の担当者と面談を行い、本研究の内容について説明して意見交換を行った。詳細計画策定調査の結果を踏まえ、UNPAD と JICA の間で R/D を締結する一方、UNPAD と日本側研究機関の間で PDM を締結した。

- 2023 年 1 月 31 日に、日本側およびインドネシア側研究リーダーが全員参加したワークショップ(非公開)をオンラインで開催した。各研究参加者の間で意見交換を行った(図 1)。
- 日本人研究者がインドネシアで研究活動を行うにあたり、BRIN を通して Research Permit の申請を行った。

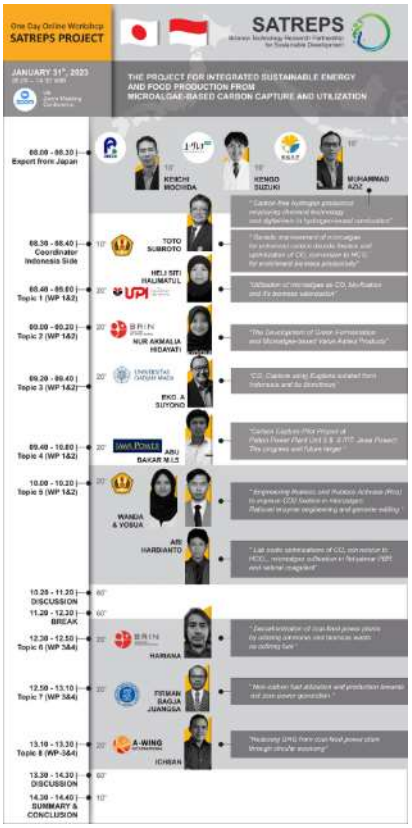


図 1. ワークショップの参加者とプログラム

・プロジェクト目標の達成状況とインパクト

本研究のプロジェクト目標は、「微細藻類を利用し二酸化炭素をインドネシアの持続可能な資源として回収する技術が統合・開発され、カーボンニュートラルな社会に向けた収益性のあるシナリオが提供される。」ことである。その達成のために、4 つの研究題目で研究をスタートし、各研究題目の進捗は、計画通りであるといえる((2) 各研究題目)。また、技術の統合と収益性のあるシナリオを作成するために、研究リーダーから構成される「BioCCU シナリオ策定チーム」を設置し、BioCCU シナリオとその波及効果を最大化するための検討を開始した。

・地球規模課題解決に資する重要性、科学技術・学術上の独創性・新規性（これまでと異なる点について)

本研究は、バイオテクノロジー、発酵工学・フードテック、反応プロセス工学、スーパーコンピューティングといったいわゆる「ディープテック」を基盤として、東南アジアの石炭火力の脱炭素化と栄養問題という「ディープイシュー」の解決に資する異分野融合研究である点に、学術上の重要性がある。また、博士課程学生が多いインドネシアとの科学技術における互恵関係は、地球環境と資源の持続性に加えて、東南アジアからの優秀な留学生等の人的交流により、両国の関連研究分野の持続性にも貢献することが期待できる。

・研究運営体制、日本人人材の育成(若手、グローバル化対応)等

理研では本研究を担当する博士研究員の採用人事を進めた。(株) ユーグレナでは、インドネシア国籍を持つ技術者が本研究への参加を可能とし、グローバル化に対応した体制とした。

・人的交流の構築(留学生、研修等)

- BRIN で WP#2 グリーン発酵研究のリーダーである Nur Akmalia Hidayati 博士を招へいし、理研、（株）ユーグレナ研の研究施設、東大で詳細な研究打ち合わせを行った。また、Nur 士を理研の客員研究員として、スムーズな研究交流を可能にした。
- 本研究全体のインドネシア側研究リーダーである Toto Subroto 教授(UNPAD)に、理研の客員主幹研究員を委嘱し、スムーズな研究交流を可能にした。
- Subroto 教授と、若手研究者の日本での研修について協議を行った。学生に関しては、研究テーマとキャリアプランに基づいて各種留学支援制度への応募を開始した。また、日本での研修のスケジュールと招へいする研究者の選定を行った。
- ITB の Firman 博士、BRIN の Arif 博士が東京大学の Aziz 研究室に滞在し、WP#3 グリーン水素および WP#4 混焼技術に関する研究打ち合わせを行い、スムーズな研究交流を可能にした。

(2) 各研究題目

(2-1)研究題目１：「藻類バイオリアクター」

藻類バイオリアクター研究グループ（リーダー：持田　恵一）

①研究題目 1 の当初計画(全体計画)に対する実施状況(カウンターパートへの技術移転状況含む)

- 微細藻類の培養を行うバイオリアクターについて、UNAPD, Jawa Power, （株）ユーグレナと協議し、仕様を策定した。
- Nur Akmalia Hidayati 博士が理研に滞在し、理研の研究者からユーグレナのゲノム編集技術の技術移転に必要な機器および技術について情報共有を行った。

②研究題目 1 の当該年度の目標の達成状況と成果

当該年度の目標: 1.1 石炭火力発電所に藻類バイオリアクターを導入する、1.2 ミドリムシゲノム編集技術を現地研究機関に実装する

微細藻類の培養を行うバイオリアクターについて、UNAPD, Jawa Power, （株）ユーグレナと協議し、仕様を策定した。Jawa Power の技術主任が UNPAD の Subroto 教授の研究室に社会人大学院生として参加し、本共同研究での交流を可能にした。

また、理研では、ミドリムシ(ユーグレナ)のゲノム編集技術の高度化に取り組んだ。編集効率の高さを利用して、カロテノイド生合成経路に関わる 16 遺伝子の破壊株を作成し、ミドリムシの眼点形成と機能に関わる代謝酵素遺伝子を明らかにした(図 1)。特に、緑藻でこれまでに知られていた知見とは異なり、ユーグレナの眼点形成には、ゼアキサンチンが重要であることを明らかにした(Tamaki et al. *Plant Physiology* 2023)。また、藻類の眼点機能に関するカロテノイドの多様性に関して、総説を取りまとめた(Tamaki et al. Under Review)。

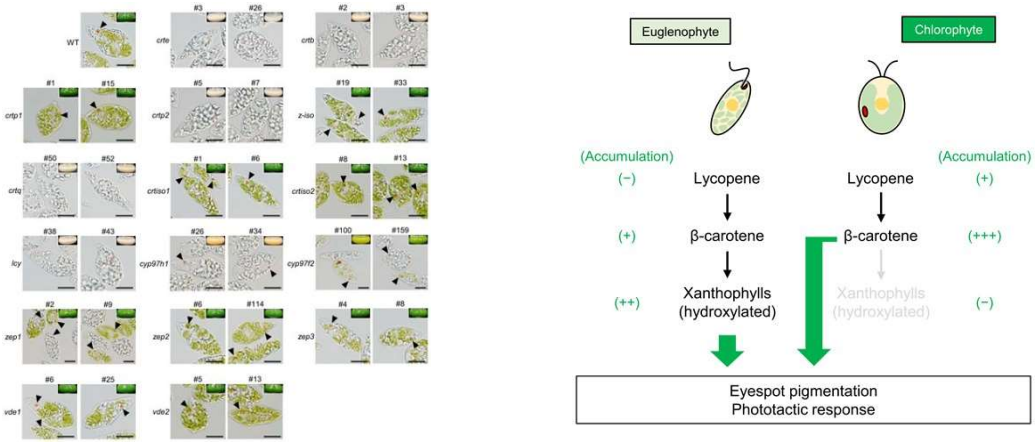


図 2. カロテノイド生合成に関わる酵素遺伝子のゲノム編集変異体シリーズ(左)の解析によって明らかになった緑藻とユーグレナ藻との眼点形成に関わるカロテノイドの違い(右)。

③研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

なし。

④研究題目 1 の研究のねらい（参考）

理化学研究所と（株）ユーグレナは、パジャジャラン大学(UNPAD)および Jawa Power と共同でペイトンに位置する石炭火力発電所の敷地内に 1000 L 規模の藻類培養技術(フォトバイオリアクター, PBR)を導入し(炭火力発電所にフォトバイオリアクター（PBR）を設置する)、微細藻類の屋外培養試験を行う(石炭火力発電所からの CO_2 を利用した微細藻類の培養を準備する)。また、パジャジャラン大学(UNPAD)および国立研究革新庁(BRIN)にミドリムシのゲノム編集技術設備を導入する(微細藻類ゲノム編集のための装置を設置する)。また、本事業による研究者招聘や理研の留学プログラム等を活用して、微細藻類のゲノム育種、代謝や生産性の評価、利用技術に関する技術研修を行い、技術移転と教育を行う(微細藻類ゲノム編集技術を最適化し技術を移転する)。

⑤研究題目 1 の研究実施方法（参考）

研究題目 1 は、バイオリアクター研究とゲノム編集研究から構成される。バイオリアクター研究は、UNPAD-JawaPower の産学連携で火力発電所へのバイオリアクターの導入を進める。また、ゲノム編集については、理研での研修とインドネシアでの実験により技術提供を行う。特に、理研と UNPAD は 1 塩基レベルの書き換え編集によるタンパク質の機能改変を進める。理研と BRIN・UPI は、ゲノム編集オープンラボをバンドン市内の BRIN 内に設置し、インドネシア国内での技術の波及に取り組む。

(2-2)研究題目 2：「グリーン発酵」

グリーン発酵研究グループ（リーダー：鈴木　健吾）

①研究題目 2 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

- 微細藻類の培養を行うグリーン発酵に関して、テンペのテスト生産を行い評価する手法について策定した。
- インドネシア現地企業 Rumah Tempe Indonesia と協力し、試作を実施し、ユーグレナを用いた発酵テンペのプロトタイプを作成した。

②研究題目 2 の当該年度の目標の達成状況と成果

当該年度の目標: 2.1a 微細藻類を利用した「グリーンテンペ 」を開発する における「テンペの発酵過程におけるミドリムシ機能を評価する」

微細藻類を用いた発酵促進について、BRIN と（株）ユーグレナで協議し、インドネシアの伝統的な発酵食品であるテンペの発酵プロセスに対して微細藻類を加えて化学分析を行い、微生物による発酵によって産生される代表的な抗酸化物質の一つであるエルゴチオネインの量と、酸性プロテアーゼの酵素活性についての比較をおこなった。その結果、ユーグレナを添加した群において、発酵プロセスが大きく変化したことを確認した(図 3)。

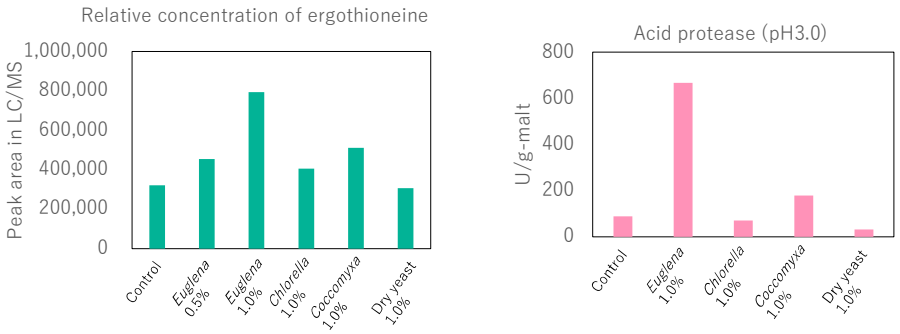


図 3. 発酵時に加えた成分によるエルゴチオネインの量と酸性プロテアーゼの活性の比較

テンペの発酵プロセスについて異なる微細藻類を用いて作成し官能試験を行った結果、ユーグレナを発酵プロセスに加えたテンペは何も加えていないテンペに比べ、「大豆の香り」「総合評価」のスコアが有意に高いことがわかった(図 4)。

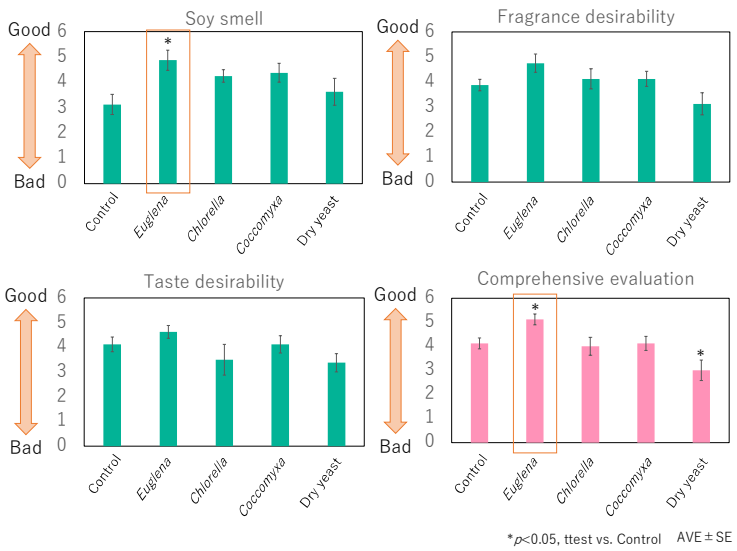


図 4. テンペの発酵プロセスに加えた物質による官能評価の比較

さらに、これまでラボスケールで行ったユーグレナを用いた発酵手法を用いた実証のために、Rumah Tempe Indonesia に依頼して実際の生産ラインをもちいてグリーンテンペの試作を行った（図 5)。

図 5. Rumah Tempe Indonesia での試作に用いた生産ライン

③研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

なし。

④研究題目 2 の研究のねらい（参考）

BRIN と（株）ユーグレナは、共同研究体制の中で微細藻類を用いた発酵リモデリング(発酵プロファイルを従来手法とは別に制御をする)技術を発酵食品やたい肥に応用する技術を開発する。また、産業面でのプレイヤーに対して、新しく開発した発酵リプログラミングに関する技術を導入してグリーン発酵(微細藻類を従来の発酵プロセスに用いた発酵)の社会実装に関するテストを実施する。また、本事業に関連して、微細藻類を用いた発酵プロセスについて評価できるように、発酵に関する生産性と品質の評価を可能なものとし、利用技術に関して再現性の高い手法の確立と社会実装に関する要件を確認する。

⑤研究題目 2 の研究実施方法（参考）

研究題目 2 は、グリーン発酵をベースにした発酵食品関連技術の開発を目的とした研究とたい肥を関連技術の開発を目的とした研究から構成される。発酵食品に関する研究は、テンペ産業と BRIN の産学連携で実際の発酵食品の現場へのグリーン発酵技術の導入を進める。また、たい肥生産については､BRIN が持つ研究施設とたい肥の生産ラインでの生産テストを通じた現地への技術提供を行う。ユーグレナ社と BRIN は、商品開発のデザインを現地企業と行い、ディストリビューターを通じたインドネシア国内への提供を行う仕組みを検証が可能な形の社会実装に取り組む

(2-3)研究題目 3 :「グリーン水素」

グリーン水素研究グループ（リーダー：アズィッズ　ムハンマッド）

① 研究題目 3 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

- ITB の Firman Bagja Juangsa 博士が東京大学の Aziz 研究室に滞在し、「3-1 高効率ケミカルルーピングによる多様なバイオマス資源からの水素生産モデルを開発する」という目標について共同研究を進めた。
- インドネシアに設置予定のケミカルルーピング実験装置の設計と綿密な仕様の策定を ITB と協働で行った。

②研究題目 3 の当該年度の目標の達成状況と成果

当該年度の目標:3-1 高効率ケミカルルーピングによる多様なバイオマス資源からの水素生産モデルを開発する

ケミカルルーピングにおける化学反応のモデル化を行うため、バイオマス熱化学変換における反応速度論の解明に取り組んだ。具体的には、セルロース、ヘミセルロース、リグニンをバイオマス試料として、Fe_2O_3 を導入した際のバイオマス試料の分解特性を分析した。また、マルチステップモデルに基づいて反応ステップの動力学パラメータを精緻化するとともに、固体とガスに対する酸素キャリアの影響を精密に解析し、ケミカルルーピングプロセスにおけるバイオマスの反応速度論の理解に取り組んだ。

結果として、揮発成分はセルロースとキシランでは比較的低温（<700 K）で発生するため、高温（~1000 K）での Fe_2O_3 還元にはほぼ関与しない、一方，リグニンについては、揮発分とリグニン由来のチャーが高温（～1050 K）で Fe_2O_3 と反応することを明らかにした。また、バイオマス成分の種類や温度帯によっては、酸素キャリアを添加しても活性化エネルギーが低下しない場合があり、特に、Fe_2O_3 はキシランの活性化エネルギーを低下させる一方で、セルロース（低温域）とリグニンの活性化エネルギーを上昇させることを明らかにした(図 6)。

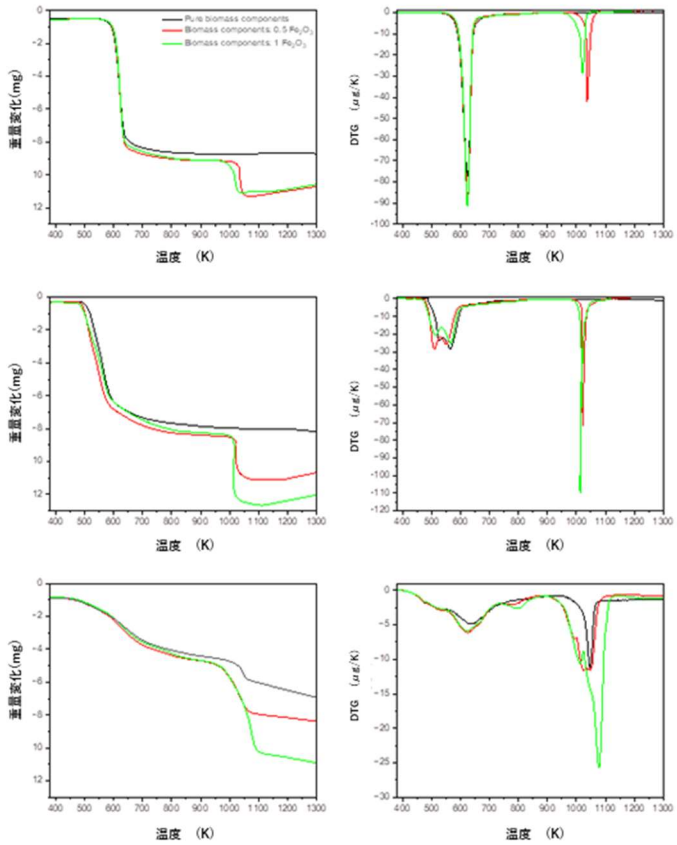


図 6. 試料の TG 曲線(左)と DTG 曲線(右)。上から、セルロース含有試料、キシラン含有試料、リグニン含有試料。

さらに、ダイレクトケミカルルーピングのプロセスにおいて避けられない副産物であるバイオマスタールの分解性向上に取り組んだ。タールは下流側にある装置のファウリングやブロッキングなどの原因となるため、除去する必要がある。酸素キャリアの酸化・触媒作用によるタール除去は、分解温度の低温化やプロセス構成要素の簡略化が可能であり、非常に魅力的であるので、低濃度の銅でドーピングされた酸化鉄（Fe203）を用いたバイオマスタールの分解促進の検討を行った。実験とシミュレーションの両方を行い、タール化合物としてトルエンを利用した。トルエンの分解に及ぼす Cu 濃度の影響を調べるために、実験とシミュレーションの両方を実施した。実験では、水素温度プログラム還元（H2-TPR）、X 線光電子分光（XPS）などの特性評価技術や固定床反応器試験を行った。シミュレーションでは、密度汎関数理論（DFT）計算により Cu でドーピングされた酸化鉄の最も安定な構造の特定と酸素空孔形成エネルギーの定量化を行った。これにより、酸素キャリアが水素および CO2 の生成を顕著に促進する一方、Cu ドーピングによる Fe_2O_3 反応性の変化が水素の収率に影響を及ぼすことと、その温度との関連を明らかにした。

これらの結果から、ケミカルルーピングにおける化学反応のモデル化にとって重要なバイオマスの反応速度論と酸素キャリア反応性における Cu ドーピングの影響に関する基礎的データを得た(図 7)。

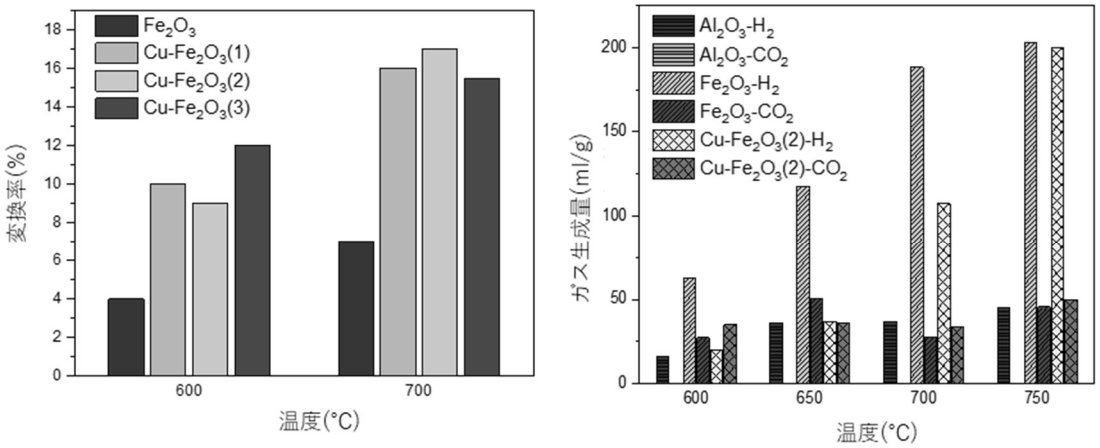


図 7　Cu ドーピング濃度と温度における酸素キャリアの変換率（左）およびガス生成（右）

③研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

なし。

④研究題目 3 の研究のねらい（参考）

ケミカルルーピング技術によって、藻類残渣をはじめとした多様なバイオマスから CO2 同時分離しながら水素に変換する技術の最適化に取り組む。東京大学とバンドン工科大学(ITB)は、実験室内でのケミカルルーピング・システムに基づいて、バイオマスを用いたグリーン水素生産の全体システムの最適化計算を可能にする(ケミカルルーピング・システムを用いたグリーン水素生産の最適化計算を行う)。また、酸素キャリア、水素製造、貯蔵、輸送、利用といった要素技術の開発を行うとともに(酸素キャリアを含むケミカルルーピングの要素技術を開発する)、研究者招聘・留学プログラムによってインドネシアの学生や研究者をこれらの研究に参加させ、技術移転と教育を行う。

⑤研究題目 3 の研究実施方法（参考）

研究題目 3 では、ケミカルルーピングにおける化学反応をモデル化するために、計算機シミュレーションと実験装置(図 8)による計測を組み合わせた研究アプローチにより反応を構成する多様なパラメータとその相互作用の理解を深化させる。

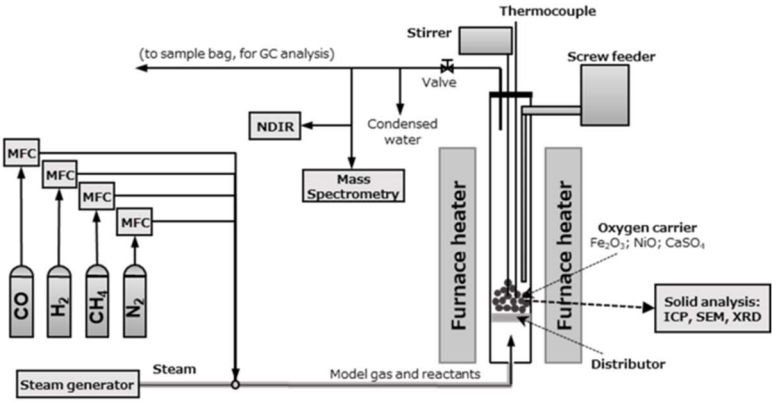


図 8　ケミカルルーピングの実験装置の模式図

(2-4)研究題目 4：「混焼技術」

混焼技術研究グループ（リーダー：アズィッズ　ムハンマッド）

① 研究題目 4 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

- BRIN の Arif Darmawan 博士が東京大学の Aziz 研究室に滞在し、「4-1 石炭火力発電所におけるバイオマス混焼技術を開発・高度化する」という課題について共同研究を進めた。
- インドネシアに設置予定の混焼実験装置の設計と綿密な仕様の策定を BRIN と協働で行った。

②研究題目 4 の当該年度の目標の達成状況と成果

当該年度の目標： 4-1 石炭火力発電所におけるバイオマス混焼技術を開発・高度化する

バイオマスを発電所の混焼燃料として活用することで、既存の発電所の CO2 排出量を削減することができる。しかし、実際の発電所に適用する前に、バイオマスやその混合燃料の特性を理解することが必要である。既存の発電所の燃料にバイオマスを混合させると、スラグや灰の堆積によるファウリングなどの問題が発生し、発電所の寿命や運転・保守コストに影響を及ぼす可能性がある。本年度は、石炭と 4 種類のバイオマス（パーム空果房（EFFR）、籾殻（RH）、固形化廃棄物由来燃料（SRF）、ウッドチップ（WC））を混焼した時のスラッギングやファウリングの可能性について、理論計算と実験手法を組み合わせて総合的に検討した。より具体的には、固体燃料の特性を使用して、単一の試料（各バイオマスと石炭）と石炭 75%・バイオマス 25%の混合試料による混焼に伴うスラッギングとファウリングの可能性を予測した。インドネシアの既存の石炭火力発電所では、燃料として主に低品位炭を使用しているため、本研究では、受入時総発熱量が約 18.83 MJ/kg の褐炭を利用した。熱挙動を調査し、試料のスラッギングとファウリングの状況を調査するために、小型ドロップチューブ炉（drop tube furnace、DTF）を利用した混焼試験および熱重量分析（TG）・示差熱分析（DTA）を行った。DTF の実験から採取した灰は、さらに電子顕微鏡・エネルギー分散型 X 線分光装置（SEM-EDS）および X 線回折装置（XRD）を用いて分析し、灰の形態学的および鉱物学的特性を明らかにした。また、灰溶融温度（ash fusion temperature、AFT）分析による石炭、バイオマス、混合試料の AFT 値の比較し、AFT の低下に関わる要因を明らかにした。(図 9)。これらの研究結果について、インドネシア側研究者との共著論文として公表した(Hariana et al. *Energy* 2023)。

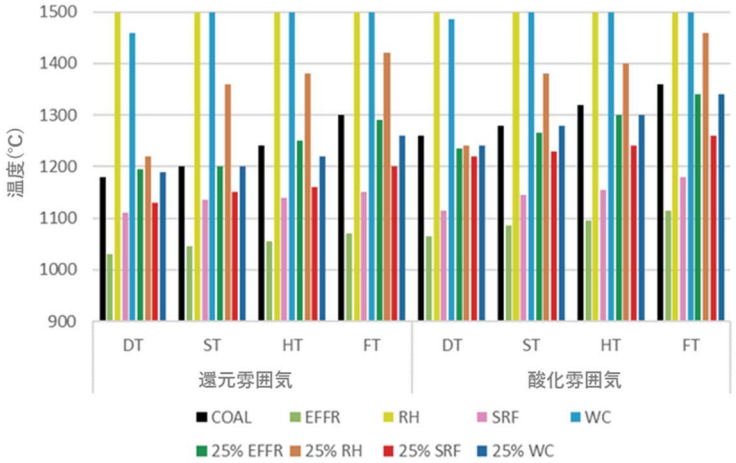


図 9. 石炭とバイオマス混合燃料の灰溶融温度（AFT）の比較

③研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

なし。

④研究題目 4 の研究のねらい（参考）

東京大学と BRIN は共同で、混焼試験結果に基づいて、最適な混焼条件（混焼率、NOｘ生成等）を流体力学･機械学習によってモデル化するとともに最適化する(石炭火力発電所における混焼プロセス改善のための混焼シミュレーションを行う)。また、スーパーコンピューターを活用した混焼デジタルツインを構築するために、混焼における燃焼現象モデルを統合した燃焼予測モデルを開発する(燃焼におけるデジタルツイン・システムの実現に向けた燃焼予測モデルを開発する)。

⑤研究題目 4 の研究実施方法（参考）

研究題目 4 では、(燃焼におけるデジタルツイン・システムの実現にむけて、計算機シミュレーションと実験装置による計測を組み合わせた研究アプローチにより、混焼における多様な現象のモデル化と反応の最適化を行う。

Ⅱ．今後のプロジェクトの進め方、およびプロジェクト／上位目標達成の見通し（公開）

今後のプロジェクトの進め方

「(1)研究の主なスケジュール」にある計画に沿ってプロジェクトを進める。研究題目 1 では、UNPAD・UGM・JawaPower と協力し、石炭火力発電所における微細藻類 CCU 技術開発を進める。また、研究題目 1 のゲノム編集等による微細藻類育種技術の実装に関しては、UNOAD・BRIN・UPI と協力して、日本での研究者・大学院生への研修と現地研究機関への技術の実装をすすめる。研究題目 2 では、現地のテンペの工場と協力して生産ラインの構築などの社会実装に向けた取り組みを進めるとともに、堆肥開発を BRIN と協力して進める。研究題目 3 に関しては、ITB・BRIN と協力して、バイオマスを用いたケミカルルーピングプロセスの最適化技術の開発と高度化をモデリングと実験の統合的なアプローチにより進める。研究題目 4 に関しては、BRIN・ITB・JawaPower と協力して、混焼の最適化を行うための実験とスーパーコンピューターによるシミュレーションを統合したアプローチにより進める。また、UGM と協力して、研究題目 1～4 の要素技術を統合して、インドネシアにおけるバイオベースの CCU 技術に基づく社会実装シナリオを議論する。

プロジェクトの上位目標達成の見通し

本プロジェクトの上位目標は、「東南アジアの持続可能な社会の実現に向け、エネルギー・食料問題の解決策として、バイオベースの CCU（炭素回収・利用）技術が開発される。」ことである。研究題目 1～4 のそれぞれの研究を推進するとともに、関連企業、関係当局やステークホルダーとの連携が上位目標達成に重要となる。研究開始時から、インドネシアの研究機関・関連企業・関係当局と上位目標を共有して協力体制をつくっている。

Ⅲ．国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

本プロジェクトは、大学・研究機関・企業が参加し、その分野もバイオテクノロジーからプロセス工学まで多様な、異分野融合研究であるため、円滑なコミュニケーションが重要となる。そのため、オンラインコミュニケーションツールを最大活用し情報共有している。また、日本に留学経験のある現地研究者が相手国参加機関から参加することで、機微に触れた調整がしやすい体制を作ることができた。さらに、双方の研究機関で客員教員として招へいしあうことで、研究リソースへのスムーズなアクセスとともに本プロジェクトを超えて新しい研究課題の創発が生まれる体制を醸成したいと考えている。

Ⅳ．社会実装に向けた取り組み（研究成果の社会還元）（公開）

2022 年 11 月 12 日にインドネシアで 2022 年 11 月 12 日にインドネシアのジャカルタで開催された超異分野学会で本研究の計画について（株）ユーグレナの鈴木 CTO が発表した。同時に、グリーンテンペのプロトタイプの試食も行われた。

https://global.lne.st/news/my/2022/12/16/euglena/

Ⅴ．日本のプレゼンスの向上（公開）

本研究におけるスーパーコンピューターを用いた混焼モデル研究について、Aziz 博士(東大)が SUPERCOMPUTING ASIA 誌のインタビューに応じ、本 SATREPS 研究について紹介された(Issue 13, January 2023)。

以上

Ⅵ. 成果発表等

（1）論文発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

①原著論文（相手国側研究チームとの共著）

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめーおわりのページ	DOIコード	国内誌/国際誌の別	発表済/in press/acceptedの別	特記事項（分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。）
2022	Hariana, Hafizh Ghazidin, Hanafi Prida Putra, Arif Darmawan, Prabowo, Edi Hilmawan, Muhammad Aziz, "The effects of additives on deposit formation during co-firing of high-sodium coal with high-potassium and -chlorine biomass", Energy, vol. 271, 127096, 2023 (Available online 28 February 2023)	10.1016/j.energy.2023.127096	国際誌	発表済	

論文数 1 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 1 件
公開すべきでない論文 0 件

②原著論文（上記①以外）

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめーおわりのページ	DOIコード	国内誌/国際誌の別	発表済/in press/acceptedの別	特記事項（分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。）
2022	Shun Tamaki and others, Zeaxanthin is required for eyespot formation and phototaxis in Euglena gracilis, Plant Physiology, Volume 191, Issue 4, April 2023, Pages 2414–2426 (Published: 06 January 2023)	10.1093/plphys/kiad001	国際誌	発表済	

論文数 1 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 1 件
公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物（相手国側研究チームとの共著）（総説、書籍など）

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物（上記③以外）（総説、書籍など）

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ－おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要（コース目的、対象、参加資格等）、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
2022	ミドリムシのゲノム編集研修コース(コース目的：ミドリムシのゲノム編集の実装、対象：大学院生および研究者、参加資格：遺伝子組み換え実験資格を得ること)	https://doi.org/10.1016/j.xpro.2020.100023 に基づくミドリムシのゲノム編集マニュアル	ミドリムシのゲノム編集を行う手順・試薬・機器の詳細、実験操作で注意するポイント等について詳細に記載している。

Ⅵ. 成果発表等

（2）学会発表【研究開始～現在の全期間】（公開）

①学会発表（相手国側研究チームと連名）（国際会議発表及び主要な国内学会発表）

年度	国内/国際の別	発表者（所属）、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演/口頭発表/ポスター発表の別
2022	国際学会	○Yu Inaba [1], Ako Murata [1], Enrico Gianino [1], Nur Akmalia Hidayati [3], Bela Putra Perdana, [4], Kengo Suzuki [1, 2] 1 Euglena Co Ltd, Tokyo, Japan 2 Microalgae Production Control Technology Laboratory, RIKEN, Yokohama, Kanagawa, Japan 3 The National Research and Innovation Agency of The Republic of Indonesia (BRIN RI), Indonesia 4 Rumah Tempe Indonesia, Indonesia Evaluation of Tempeh, a fermented soybean food supplemented with microalgae Euglena gracillis HYPER INTERDISCIPLINARY CONFERENCE in Indonesia 2022 Block 71 Ariobimo Sentral, South Jakarta 12th Nov 2022	ポスター発表
2022	国際学会	Aziz (U Tokyo), Mochida (RIKEN), SCA2023(Super Computer Asia 2023) のCollabolationg with ASEAN のサイトに本研究課題の内容を掲載　https://www.r-ccs.riken.jp/exhibit_contents/SCA23/ASEAN/ 27 FEBRUARY – 2 MARCH 2023 | SINGAPORE EXPO CONVENTION & EXHIBITION CENTRE	ポスター発表

招待講演	0	件
口頭発表	0	件
ポスター発表	2	件

②学会発表（上記①以外）（国際会議発表及び主要な国内学会発表）

年度	国内/国際の別	発表者（所属）、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演/口頭発表/ポスター発表の別
2022	国際学会	○Kengo Suzuki The Project for Integrated sustainable energy and food production from microalgae-based carbon capture and utilization HYPER INTERDISCIPLINARY CONFERENCE in Indonesia 2022 Block 71 Ariobimo Sentral, South Jakarta 12th Nov 2022	招待講演

招待講演	1	件
口頭発表	0	件
ポスター発表	0	件

Ⅵ. 成果発表等

（3）特許出願【研究開始～現在の全期間】（公開）

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号（未登録は空欄）	登録日（未登録は空欄）	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号（未登録は空欄）	登録日（未登録は空欄）	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

Ⅵ. 成果発表等
（4）受賞等【研究開始～現在の全期間】（公開）

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 （「○○の開発」など）	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 （選択）	特記事項
2022	2023/3/16	日本農芸化学会トピックス賞	CRISPR/Cas9ゲノム編集技術による回収率向上を目的とした遊泳不全ユーグレナ変異株の作出	石川 まるみ、野村 俊尚、玉木 峻、尾笹 一成、鈴木 智子、豊岡 公徳、広田 菊江、山田 康嗣、鈴木 健吾、持田 恵一	日本農芸化学会	その他	

1 件

②マスコミ（新聞・TV等）報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 （選択）	特記事項
2022	2023/1/30	OPTRONICS ONLINE 日本経済新聞Webサイト	ユーグレナの眼点をつかさどる色素を同定 ー微細藻類の光認識機構と色素合成に関する新たな知見ー	https://optronics-media.com/news/20230130/80105/ https://www.nikkei.com/article/DGXZRSP648416_Q3A130C2000000/	3.一部当課題研究の成果が含まれる	

1 件

Ⅵ. 成果発表等

（5）ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】（公開）

①ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 （開催国）	参加人数 （相手国からの招聘者数）	公開/ 非公開の別	概要
2022	2022/10/3	農業省を訪問	インドネシア	11(6)	非公開	研究内容の説明
2022	2022/10/4	エネルギー省訪問	インドネシア	12(5)	非公開	研究内容の説明
2022	2023/1/31	One Day Workshop SATREPS PROJECT	on line	20(11)	非公開	本格研究に向けた全体会議

3 件

②合同調整委員会(JCC)開催記録（開催日、議題、出席人数、協議概要等）

年度	開催日	議題	出席人数	概要

0 件

公開資料

成果目標シート

研究課題名	微細藻類による二酸化炭素の固定と資源化によるエネルギーおよび食料資源の持続的生産システムの創出
研究代表者名 （所属機関）	持田恵一 （理化学研究所）
研究期間	R4採択（令和4年6月1日～令和10年3月31日）
相手国名／主要相手国研究機関	インドネシア／パジャジャラン大学、ガジャ・マダ大学、インドネシア教育大学、バンドン工科大学、国立研究革新庁、Jawa Power、Awina Sinergi
関連するSDGs	目標 13. 気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる 目標 7. すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する 目標 2. 飢餓を終わらせ、食料安全保障及び栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する

成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	● 日本の先行技術を海外展開することで、安定・柔軟・透明な水素国際市場の形成にも貢献 ● 次世代発酵食品や発酵肥料の販路を拡大
科学技術の発展	● 微生物相互作用による発酵リモデリングの高度化 ● ケミカルルーピングによる水素生産技術の高度化
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	● 日本のグリーン水素技術を海外展開することで、安定で透明な水素国際市場の形成に貢献 ● ゲノム編集技術を相手国に実装し、現地の藻類遺伝資源を用いた育種を推進
世界で活躍できる日本人人材の育成	● 日本人若手研究者を相手国研究機関に派遣し、国際的に活躍できる研究者を育成
技術及び人的ネットワークの構築	● 大学院修士・博士課程留学生、研究者の受け入れ ● 藻類培養技術・ゲノム編集・発酵リモデリング・水素生産等の技術ネットワークの構築
成果物	● 藻類育種・水素生産等に関する査読付き研究論文 ● グリーン発酵技術およびグリーン水素技術に基づく政策提案 ● 経済合理性の評価データ

上位目標

東南アジアの持続可能な社会の実現に向け、エネルギー・食料問題の解決策として、バイオベースのCCU（炭素回収・利用）技術が開発される。

- 研究成果に基づく提言が、インドネシア政府・地域社会により低炭素社会に向けた政策のために参照される。
- インドネシアにおいてグリーン発酵技術に基づくローカルビジネスが開始される。
- グリーン水素技術に基づき、インドネシアで水素ベース社会の実現に向けた政策議論が開始される。

プロジェクト目標

微細藻類を利用し二酸化炭素をインドネシアの持続可能な資源として回収する技術が統合・開発され、カーボンニュートラルな社会に向けた収益性のあるシナリオが提供される。

	藻類バイオリアクター	グリーン発酵	グリーン水素	混焼技術
100%	インドネシアの主要なCO2排出源におけるCCUシナリオを作成	グリーン発酵技術に基づく健康と農業に関する政策提言	グリーン水素技術に基づく水素社会に向けたロードマップ	混焼による低炭素石炭火力発電所にかかる政策提言
80%	微細藻類育種株のバイオマス生産を評価する(10g-CO_2/m2以上の炭素固定能力)	微細藻類の栄養不良改善への応用に向けた研究を実施する(少なくとも1つの生産工場) 微細藻類添加発酵堆肥の実証評価を行う(3種以上の作物)	ケミカルルーピングによる多様なバイオマス資源からの水素生産を高度化する（50%以上のエネルギー変換効率を目指す）	石炭火力発電所におけるバイオマス及び水素ベース燃料の混焼技術を開発・高度化する(水素ベース燃料混焼率5%以上をパイロットプラントで実現)
60%				
40%	石炭火力発電所に藻類バイオリアクターを導入する(1000L級のリアクターを導入) ミドリムシのゲノム編集技術の現地研究機関への実装(80%以上の編集効率を達成)	微細藻類を利用した「グリーンテンペ」を開発する 微細藻類を用いた堆肥化技術を高度化する	高効率ケミカルルーピングによる多様なバイオマス資源からの水素生産モデルを開発する	石炭火力発電所におけるバイオマス混焼技術を開発・高度化する（混焼パイロットプラント（100kW 程度）を構築)
20%				
0%				